

PENGARUH KONSENTRASI Li YANG DI-DOPING KE DALAM KATALIS CaO TERHADAP REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK SAWIT

Renita Manurung^{1,*}, Frisda Panjaitan², A. Y. Putra^{1,*} dan M. Tarmidzil

¹Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

Jalan Almamater Kampus USU Padang Bulan Medan 20155 Sumatera Utara, Indonesia

²Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Jalan Brigjen Katamso No. 51, 20158, Medan,

Sumatera utara, Indonesia

*email: andre.yanda.putra@gmail.com

Abstrak

Pengembangan biodiesel dari crude palm oil (CPO) semakin diminati karena ketersediaan bahan bakar berbasis minyak bumi yang semakin sedikit. Perkebunan kelapa sawit merupakan tanaman perkebunan di Indonesia yang terbesar sehingga memiliki potensi untuk dapat digunakan sebagai bahan baku biodiesel. Reaksi transesterifikasi merupakan tahap reaksi untuk menghasilkan metil ester. Namun, CPO mudah mengalami degradasi akibat hidrolisis, sehingga dapat meningkatkan nilai asam lemak bebas yang dapat mengganggu reaksi transesterifikasi. Produk samping yang dihasilkan akibat asam lemak bebas yang tinggi adalah sabun. Untuk memaksimalkan produksi biodiesel dari minyak sawit yang memiliki kadar asam lemak bebas tinggi salah satunya dengan menggunakan katalis hasil pendopingan. Penelitian ini dilakukan untuk memberikan informasi mengenai pengaruh konsentrasi ion Li^+ yang didoping ke dalam kalsium oksida (CaO) terhadap reaksi transesterifikasi minyak sawit dengan kadar asam lemak bebas (ALB) yang tinggi menjadi metil ester, pada temperatur 1200C, rasio metanol: minyak = 12:1, jumlah katalis 2,5 %, selama 3,5 jam, menggunakan reaktor bertekanan. Variabel penelitian adalah konsentrasi Li yang didoping ke dalam CaO, yaitu 0,%, 1% dan 4%. Adapun parameter uji yang dilakukan adalah kandungan metil ester yang diperoleh dari hasil reaksi transesterifikasi dengan analisa Gas Chromatographi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi Li yang di-doping pada CaO paling baik adalah 1%, dengan hasil 90,882% metil ester.

Kata Kunci: transesterifikasi, CPO, katalis heterogen, litium, kalsium oksida, metil ester.

1. PENDAHULUAN

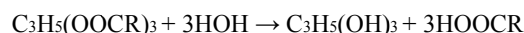
Minyak sawit (*Crude Palm Oil*) adalah salah satu jenis trigliserida yang banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan metil ester. Minyak sawit mentah merupakan salah satu jenis minyak nabati yang mengandung asam lemak dengan rantai karbon C14-C20 (Tania, 2007).

Tabel I. Komposisi Asam Lemak CPO

Asam Lemak	CPO (%)
Laurat, C-12:0	0,1
Miristat, C-14:0	1,0
Palmitat, C-16:0	42,8
Stearat, C-18:0	4,5
Oleat, C-18:1	40,5
Linoleat, C-18:2	10,1
Linolenat, C-18:3	0, 2
Lainnya	0,8

Karakteristik dan kualitas minyak sawit menentukan jenis proses produksi biodiesel yang dilakukan. Biodiesel umumnya diproduksi dari *refined vegetable oil* dengan menggunakan proses transesterifikasi. *Refined vegetable oil* yaitu minyak lemak mentah yang diproses lanjut (*pre-treatment*), guna menghilangkan kadar fosfor dan asam-asam lemak bebas, serta beberapa dari non gliserida lainnya sampai level tertentu. Proses ini disebut juga proses satu tahap. Jika bahan baku minyak mentah tidak mengalami *treatment* awal, dimana kandungan asam-asam lemak bebasnya masih tinggi, maka perlu dilakukan proses esterifikasi. Ini merupakan proses pendahuluan menggunakan katalis asam untuk menurunkan kadar asam lemak bebas. Selanjutnya dilakukan proses transesterifikasi terhadap produk esterifikasi di atas menggunakan katalis basa. Proses ini disebut juga proses dua tahap (Tambun, 2006).

Proses transesterifikasi merupakan metode umum dalam pembuatan biodiesel. Metode ini bisa menghasilkan biodiesel hingga rendemen 95% dari bahan baku minyak tumbuhan. Pada dasarnya, proses ini bertujuan untuk mengubah trigliserida menjadi asam lemak metil ester (FAME) (Hambali et al, 2007). Reaksi ini merupakan reaksi bolak-balik yang pada suhu kamar dan tanpa bantuan katalisator akan berlangsung sangat lambat (Hendartomo, 2004). Alkohol yang paling umum digunakan adalah metanol, karena harganya murah dan reaktivitasnya paling tinggi. Secara stoikimetris 1 mol trigliserida akan bereaksi dengan 3 mol metanol, menghasilkan 3 mol metil ester dan 1 mol gliserol (Lee, dkk., 2009). Asam lemak bebas dalam konsentrasi tinggi yang terikut dalam minyak sawit sangat merugikan. Tingginya asam lemak ini mengakibatkan rendemen minyak turun. Asam lemak bebas dibentuk saat gelembung asam lemak pada molekul trigliserida, digliserida dan monogliserida diputus oleh hidrolisis kimia dan enzimatis. Faktor-faktor yang mempercepat reaksi ini adalah panas, air, keasaman katalis (enzim). Kualitas standar asam lemak yang dibolehkan di dalam minyak sawit adalah sekitar 3% (Formo et al, 1979). Selain itu, daya campur antara minyak dan air, dikondisi tertentu akan menghidrolisis trigliserida minyak menjadi asam lemak bebas dan gliserol.



Sehingga, pada bahan ini harus dilakukan proses pencegahan dengan cepat agar minyak sawit memiliki kandungan FFA yang rendah. Minyak sawit yang memiliki FFA yang rendah mengindikasikan bahwa minyak tersebut dapat diproses dengan baik (Formo et al, 2006). Tapi di bawah kondisi praktik, laju hidrolisis pemecahan molekul trigliserida untuk memproduksi FFA dapat diabaikan pada kandungan air pada 0,1%. Sehingga ukuran kualitas kontrol, kandungan air minyak sawit harus diturunkan menjadi dibawah 0,1% untuk mencegah peningkatan FFA (Goh, 2006). Kualitas minyak sawit tersebut diatas harus tetap dipertahankan, karena perubahan pada kualitas tersebut dapat menyebabkan menurunnya kualitas asam lemak dan gliserin yang dihasilkan dari proses hidrolisis atau splitting atau pemasakan asam lemak dan gliserin dari trigliserida minyak sawit (Yusuf, 2004).

2. METODE PENELITIAN

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Crude Palm Oil*, Metanol Pro Analisis, Lithium Nitrat (LiNO_3) Kalsium Oksida (CaO), dan Aquadest. Reaksi Transesterifikasi dilakukan dengan menggunakan reaktor Reaktor bertekanan PARR 4800. Kandungan asam lemak trigliserida dan metil ester dianalisa dengan menggunakan kromatografi gas (Shimadzu GC 148 dengan detektor FID, jenis kolom DB-HT: 15 m x 0,25 mm ID, tebal film 0,1 μmeter , carier gas: Helium, flushing gas Nitrogen, suhu oven 50 $^{\circ}\text{C}$, suhu injektor dan detektor 400 $^{\circ}\text{C}$. Analisa CPO berlangsung pada kolom kapiler tinggi dan non polar. Internal standar yang digunakan adalah 1,2,3 trikaprogliserol (tricaprin) untuk penentuan senyawa gliserida. Standar yang digunakan adalah gliserol, 1-monoleoil gliserol (monoolein), 1,3 dioleoil (diolein), dan 1,2,3 trioleoil (triolein). Aktivasi katalis dilakukan dengan perlakuan awal berupa, ditimbang 10 gr CaO dan dipanaskan pada 120 $^{\circ}\text{C}$ di dalam oven selama 2 jam, dilarutkan LiNO_3 dalam aquadest 30 ml, diimpreg larutan LiNO_3 dengan CaO yang telah dipanaskan dalam beaker glass sambil diaduk dengan magnetic stirrer selama 2 jam, disaring larutan, lalu dikeringkan pada oven 120 $^{\circ}\text{C}$ selama 12 jam, bahan dikalsinasi pada 500 $^{\circ}\text{C}$ selama 4 jam. Prosedur yang sama dilakukan dengan konsentrasi Li^+ 1% dan 4%. Selanjutnya, ditimbang minyak sawit sebanyak 300 g, kemudian dimasukkan ke dalam reaktor. Ditambahkan metanol dengan rasio metanol : minyak (12:1) dan katalis 2,5% (w/w) ke dalam reaktor. Campuran direaksikan selama 2,5 jam pada suhu 120 $^{\circ}\text{C}$. Setelah reaksi selesai, campuran hasil reaksi di-centrifuse selama 20 menit, lalu dipisahkan lapisan atas dari lapisan bawah yang terbentuk. Analisa dengan menggunakan *Gas Chromatographi*. Langkah tersebut diulangi untuk variasi lainnya. Produksi metil ester dilakukan dengan metode *Transesterifikasi*, yaitu dengan mereaksikan minyak sawit dengan etanol untuk menghasilkan biodiesel dan gliserol. Cara kerja *Transesterifikasi*, yaitu: Sebanyak 300 gram *Crude Palm Oil* (CPO) ditimbang lalu dimasukkan ke dalam reaktor bertekanan PARR 4800, katalis dimasukkan ke dalam reaktor bertekanan (Jumlah katalis disesuaikan dengan variasi yang ditentukan). Metanol ditambahkan (Jumlah Metanol disesuaikan dengan variasi yang

ditentukan) Kecepatan pengaduk diatur 300 rpm. Campuran dipanaskan selama 3,5 jam pada suhu konstan 120°C. Dianalisa jumlah persen metil ester yang dihasilkan.

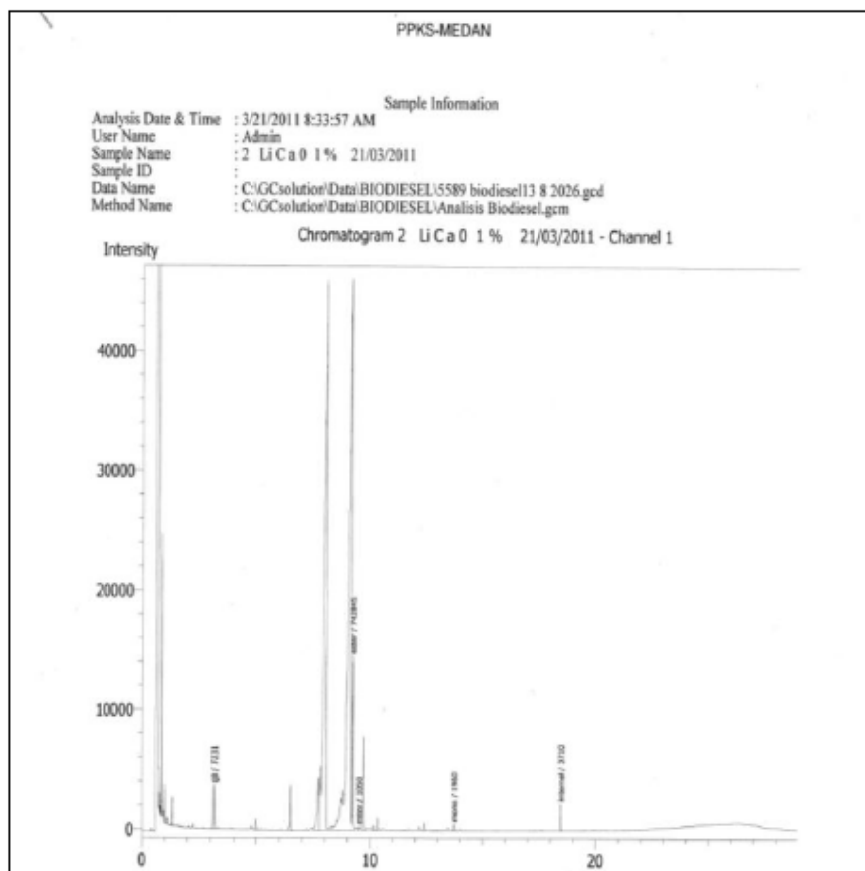
3. Hasil dan Pembahasan

Tabel II. Hasil dan Pembahasan

Katalis	% Li yang di- doping	Komposisi				
		TG	DG	MG	ME	G
CaO	0	67,5008	12,4552	1,1946	13,1264	0,5471
Li/CaO	1	0	0	0,2394	90,882	0,8853
Li/CaO	4	0,545	2,1975	2,1924	88,3078	1,2934

Berikut adalah *chromatogram* dari salah satu metil ester yang dihasilkan dari penelitian yang telah dilakukan.

Berikut adalah *chromatogram* dari salah satu metil ester yang dihasilkan dari penelitian yang telah dilakukan.



Gambar 1. Chromatogram Analisis GC dari Hasil Transesterifikasi CPO dengan katalis Li/CaO dengan loading Li 1 %.

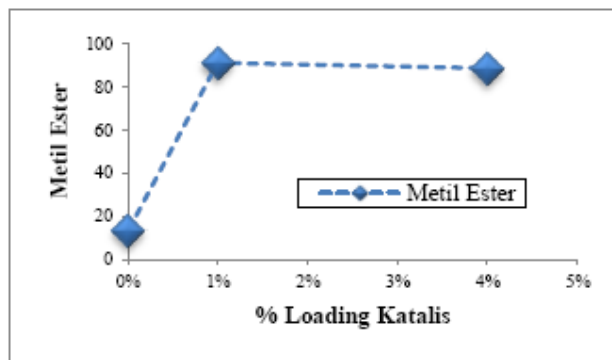
Tabel III. Tabel *Peak area*

Peak Table - Channel 1					
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Area%	Name
1	1.332	3035	2318	0.3708	oli
2	3.154	7231	3633	0.8835	
3	4.992	2032	865	0.2483	
4	6.510	7714	3720	0.9424	
5	7.721	22150	4384	2.7061	ester ester
6	9.230	742845	14268	90.7537	
7	9.505	1050	279	0.1283	
8	9.702	21944	7852	2.6810	
9	10.147	1012	385	0.1236	
10	10.341	2154	1006	0.2631	
11	12.400	1691	639	0.2066	
12	13.724	1960	524	0.2394	
13	18.468	3710	2241	0.4532	mono internal
Total		818528			

Reaksi untuk pembentukan metil ester pada penelitian ini adalah menggunakan reaksi transesterifikasi. Bahan baku yang digunakan adalah minyak sawit mentah atau CPO *low grade* yaitu memiliki asam lemak bebas 4,19%. Katalis yang digunakan adalah katalis padat CaO yang sudah di-*doping* dengan ion Li pada konsentrasi 1% dan 4%. Penggunaan katalis CaO yang di-*doping* dengan ion Li telah dilakukan Amanda (2007) menggunakan *canola oil*. Hasil pembentukan ester yang diperoleh adalah 70,7% dengan kondisi operasi, suhu 50oC dengan rasio metanol/minyak 6:1 dan jumlah katalis 2% reaksi selama 4 jam.

Menurut Sharma dan Singh (2009), reaksi transesterifikasi berjalan ideal pada kondisi kadar asam lemak bebas <0,5% dan kadar air ≤0,1%. Reaksi-reaksi bersaing seperti hidrolisis dan penyabunan akan timbul, bila spesifikasi bahan baku yang digunakan lebih tinggi dari yang disebut diatas.

Penggandengan ion Li ke dalam katalis CaO bertujuan untuk meningkatkan reaksi pembentukan metil ester dari minyak sawit mentah (CPO) *low grade* dengan kadar ALB 4,19 %. Dalam penelitian ini juga telah dilakukan reaksi transesterifikasi menggunakan katalis CaO yang dikalsinasi pada suhu 500oC. Pembentukan metil ester yang diperoleh adalah 13,1264% dengan kadar total gliserida yang belum bereaksi sebesar 81,1506%.



Gambar 2. Grafik Pengaruh % Loading Li terhadap Pembentukan Metil Ester

Gambar 2 menunjukkan kandungan metil ester yang terbentuk hasil analisa gas kromatografi. Peningkatan pembentukan ester naik drastis dari loading 0 % sampai pada penggunaan katalis CaO dengan *doping* Li sebesar 1%, yaitu 13,624 % sampai 90,882 %. Hal ini disebabkan adanya reaksi bersaing, yaitu antara CaO dengan asam lemak bebas yang tinggi pada CPO (Liu, 2008). Kadar air dan asam lemak bebas dapat mengganggu reaksi transesterifikasi (Gerpen, 2005). Besarnya kandungan FFA dan kandungan air dalam CPO sangat berpengaruh besar pada laju reaksi dan pada konsentrasi akhir metil ester. Adanya air di dalam metil ester akan membuat konsentrasi turun pada saat awal-awal reaksi yang semestinya laju reaksinya cepat, akibat terjadinya reaksi hidrolisis ester yang membentuk asam lemaknya kembali (Tania, 2007).

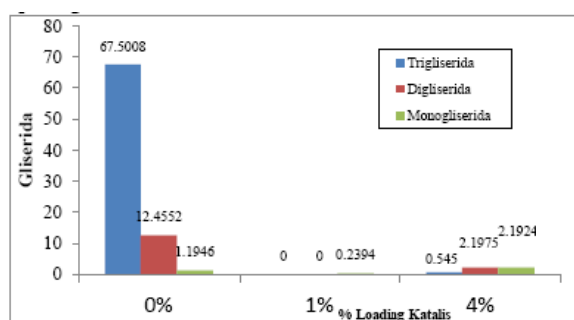
Adanya peningkatan jumlah metil ester saat penggunaan Li/CaO 1% diakibatkan tersedianya luas permukaan katalis yang cukup besar untuk mereaksikan metanol dan CPO. Katalis dapat menyediakan jalan reaksi alternatif dengan energi aktivasi (energi minimum yang dibutuhkan campuran untuk menghasilkan produk) yang lebih kecil melalui pembentukan intermediet reaktif di permukaan katalis, di mana banyak terjadi reaksi atomik atau molekuler, kemudian intermediet aktif ini akan saling berinteraksi membentuk produk. Sehingga katalis mampu memperbesar kemungkinan terjadinya tumbukan efektif antara molekul

reaktan (Nurofik, 2008). Sejalan dengan Watkins (2004), yang mampu menghasilkan metil ester dengan reaksi transesterifikasi menggunakan katalis Li/CaO 1,23%.

Pada saat penggunaan katalis dengan doping Li sebesar 4% hasil metil ester yang diperoleh adalah 88,3078%, namun sedikit berada di bawah katalis dengan doping Li sebesar 1%. Adanya peningkatan jumlah metil ester saat penggunaan Li/CaO 4% diakibatkan tersedianya luas permukaan katalis yang cukup besar untuk mereaksikan metanol dan CPO. Katalis dapat menyediakan jalan reaksi alternatif dengan energi aktivasi (energi minimum yang dibutuhkan campuran untuk menghasilkan produk) yang lebih kecil melalui pembentukan intermediet reaktif di permukaan katalis, di mana banyak terjadi reaksi atomik atau molekuler, kemudian intermediet aktif ini akan saling berinteraksi membentuk produk. Sehingga katalis mampu memperbesar kemungkinan terjadinya tumbukan efektif antara molekul reaktan (Nurofik, 2008). Namun adanya penurunan pembentukan ester pada penggunaan katalis CaO *doping* Li sebesar 4% dibanding 1% didekati dengan pengukuran terhadap reaksi-reaksi bersaing lain (Sharma dan Singh, 2009). Apabila dibandingkan dengan Amanda, 2007, hasil transesterifikasi dengan katalis Li/CaO 1% dan 4% ini lebih tinggi sekitar >10%. Secara umum, seharusnya kandungan metil ester yang dihasilkan meningkat seiring bertambahnya Li yang di doping. Menurut teori, aktifitas katalisasi dalam transesterifikasi sebanding dengan kekuatan basa katalis. Semakin tinggi tingkat kebasan katalis, maka semakin tinggi konversi reaksi transesterifikasi (Lee, dkk., 2009).

3.1 Penentuan Penggunaan *Doping* Katalis yang Paling Baik

Pada penelitian ini juga diperoleh data komposisi gliserida hasil proses transesterifikasi. Kondisi operasi yang digunakan adalah CPO : Metanol = 1 : 12, suhu reaksi 120oC, waktu reaksi selama 3,5 jam, dan jumlah katalis Li/CaO yang digunakan adalah 2,5% (w/w) CPO, serta tekanan reaksi sebesar 5 bar. Penentuan penggunaan katalis yang paling baik didekati dari hasil analisa komponen gliserida produk metil ester. Umumnya, reaksi transesterifikasi CPO dengan metanol menghasilkan ester asam lemak, yaitu metil ester dan gliserol dengan monogliserida dan digliserida sebagai produk antara. Reaksi transesterifikasi secara ideal berjalan secara konsekutif yaitu trigliserida menjadi digliserida, selanjutnya digliserida menjadi monogliserida dan akhirnya monogliserida menjadi ester (Freedman dkk, 1986). Hasil jumlah gliserida yang diperoleh dapat dilihat pada gambar 3 berikut ini.

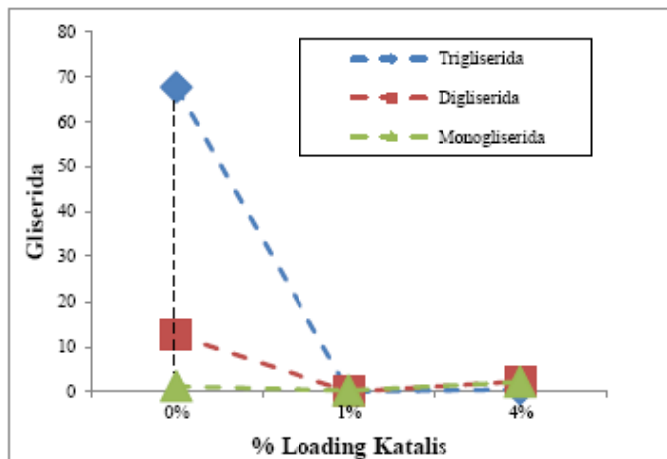


Gambar 3.3 diatas dapat diperoleh bahwa penggunaan katalis CaO yang di-*doping* Li 0% menunjukkan komposisi gliserida yang jauh lebih tinggi dibanding dengan penggunaan konsentrasi *doping* Li yang lain. Konsentrasi akhir komponen gliserida pada penggunaan *doping* Li 0% adalah trigliserida (67,5008%), digliserida (12,4452%) dan monogliserida (1,1946%). Tingginya kandungan gliserida pada transesterifikasi dengan menggunakan Li/CaO 0% diduga diakibatkan karena tingginya asam lemak bebas yang dapat menyebabkan timbulnya reaksi penyabunan. Sehingga katalis tidak mampu mengarahkan reaksi ke arah produk metil ester.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Darnoko dan Cheryan (2000) dinyatakan bahwa penggunaan bahan baku dengan kadar asam lemak bebas di atas 1% menyebabkan meningkatnya hasil reaksi samping, yaitu reaksi penyabunan pada reaksi transesterifikasi oleh karena reaksi katalis basa yang lebih reaktif dengan asam lemak bebas dibandingkan gliserida.

Noureddini dan Zhu (1997) melakukan studi kinetika transesterifikasi minyak kedelai pada reaktor *batch*. Hasil studi tersebut menunjukkan tahap pembentukan konversi Trigliserida (TG) menjadi Digliserida (DG) merupakan tahap yang paling lambat dan penentu laju reaksi sedangkan tahap konversi Monogliserida (MG) menjadi Metil Ester dari merupakan tahap yang paling cepat. Monogliserida (MG) merupakan senyawa yang paling tidak stabil diantaranya senyawa intermediet lainnya dan akan segera terkonversi menjadi Gliserol dan Metil Ester karena konstanta laju reaksinya paling cepat. Hasil studi yang sama juga diperoleh oleh Darnoko dan Cheryan (2000) yang melakukan studi kinetika transesterifikasi minyak kelapa sawit dan

Vicente dkk (2005,2006) yang melakukan studi kinetika transesterifikasi minyak bunga matahari dan minyak Brassica carinata. Kedua hasil studi tersebut menunjukkan tahap konversi Trigliserida (TG) menjadi Digliserida (DG) merupakan tahap penentu laju reaksi karena merupakan tahap paling lambat. Data jumlah gliserida yang diperoleh dapat dibuat perbandingan antara TG, DG, dan MG. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan Komposisi Gliserida pada Berbagai Konsentrasi *Doping* Li

Gambar 4 menunjukkan komposisi gliserida yang ada terhadap penggunaan berbagai katalis. Dapat dilihat bahwa, pada *loading* Li/CaO 0% perubahan TG menjadi DG merupakan yang paling lambat berubah. Sesuai dengan teori bahwa perubahan TG menjadi DG merupakan tahap yang paling lama, sedangkan MG menjadi komposisi yang paling kecil diantara komposisi lain karena tahapnya paling cepat untuk berubah menjadi metil ester. Sehingga dapat dikatakan katalis Li/CaO 0% belum mampu memberikan efek katalisis dalam mempercepat reaksi pada tahap TG menjadi DG.

Sedangkan pada 1% dan 4% menunjukkan hasil yang berbeda, jumlah gliserida yang ada mendekati 0%. Katalis Li/CaO 1% diperoleh TG sebesar 0%, DG sebesar 0% dan MG sebesar 0,2394%. Dan katalis 4% diperoleh TG sebesar 0,545%, DG sebesar 2,1975% dan MG sebesar 2,1924%. Di sini katalis mampu berperan dalam tahap reaksi TG menjadi DG. Berdasarkan studi Diasakou dkk. (1998) yang melakukan transesterifikasi pada kondisi superkritik katalitik. Berdasarkan hasil studi tersebut, tahap penentu laju reaksi adalah tahap konversi Monogliserida (MG) menjadi Metil Ester sedangkan tahap paling cepat adalah tahap konversi Trigliserida (TG) menjadi Digliserida (DG).

Dari keseluruhan data gliserida yang diperoleh pada *doping* Li/CaO 0%, 1% dan 4% didapat kesimpulan bahwa hasil gliserida yang paling sedikit ada pada Li/CaO 1% sehingga dapat dikatakan kondisi katalis Li/CaO 1% adalah yang terbaik diantara pendopingan Li/CaO yang lainnya.

4. KESIMPULAN

1. Penggantian ion Li ke dalam katalis CaO dapat meningkatkan reaksi pembentukan metil ester dari minyak sawit mentah (CPO) *low grade* dengan kadar ALB >3,5 %.
2. Pembentukan metil ester yang paling tinggi diperoleh pada penggunaan katalis CaO dengan *doping* Li sebesar 1% yaitu sebesar 90,882%.
3. Reaksi bersaing dapat mempengaruhi reaksi transesterifikasi sehingga kandungan metil ester yang diperoleh tidak maksimal.

5. SARAN

1. Sebaiknya perlu dieksplorasi kondisi reaksi transesterifikasi optimum pada penggunaan katalis heterogen Li/CaO.
2. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan karakterisasi katalis yang di-*doping*.
3. Sebaiknya juga digunakan variabel *co-solvent* untuk melarutkan antara minyak sawit dan metanol sehingga mempermudah dalam reaksi transesterifikasinya.

6. DAFTAR PUSTAKA

Amanda, 2007. *Synthesis Biodiesel from Canola Oil using Heterogeneous Base Catalyst*. <http://www.springer.com>.



- Darnoko, D. and Cheryan, M. 2000. *Kinetics of Palm Oil Transesterifications*. JAOCS. Vol. 77, no.12 (2000), pp 1263-67. Illinois.
- Formo *et al*, *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. Dalam Rohani binti Mohammad Zin. *Process Design in Degumming and Bleaching of Palm Oil*. Johor Baru: CLEAR, UTM. 2006.
- Freedman, dkk., 1986. *Transesterification Kinetics of Soybean Oil*. JAOCS. vol 63. Hal 1375-1380.
- Knothe, G.; van Gerpen, J. and Krahl, J., 2005. *The Biodiesel Handbook*. AOCS Press, Champaign, IL, USA.
- Goh, E, M. *Palm Oil Composition and Quality*. Dalam Rohani binti Mohammad Zin. *Process Design in Degumming and Bleaching of Palm Oil*. Johor Baru: CLEAR, UTM. 2006.
- Hambali, et al. 2007. *Pengembangan Bioenergi di Indonesia*. Cetakan Ketiga. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Lee, Dae Won, dkk., 2009. *Heterogeneous Base Catalysts for Transesterification in Biodiesel Synthesis*. Catal Surv Asia. vol 13. hal. 63-77.
- Liu, 2008. *Transesterifikasi of Soybean Oil to Biodiesel using CaO as a Solid Base Catalyst*. Elsevier Fuel. (87): hal. 216-221.
- Nurofik, 2008. *Reaksi oksidasi katalitik*. Digitallib. Jakarta: FMIPA-UI.
- Sharma, Y.C. dan B. Singh, 2008. *Development of Biodiesel: Current Scenario*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol.582. hal. 1-6.
- Tambun, Rondang, 2006. *Buku Ajar Teknologi Oleokimia*. Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara: Medan.
- Tania, S.U., Arbianti, Rita, Nurhasman, Doddy. 2007. *Kinetika Reaksi Transesterifikasi CPO terhadap Produk Metil Palmitat dalam Reaktor Tumpak*. Depok. Universitas Indonesia.
- Watkins, Roberts S., et al, 2004. *Li-CaO Catalyst Tri-Glyceride Transesterification for Biodiesel Application*. Department of Chemistry, University of York. <http://www.rsc.org/greenchem>.
- Yusuf, Muhammad. 2004. *Pengaruh bilangan asam terhadap Hidrolisa minyak kelapa sawit*. Medan: usu-library.ac.id.